

УДК 531.19:575:633.854.78

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ФЕНОТИПИЧЕСКОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТОКОФЕРОЛОВ В СЕМЕНАХ ЛИНИЙ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Гордовская Н.Н., Перетягина Т.М., Коваленко Т.А.

350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК

nadezda_awyst@mail.ru

Изучали влияние погодных условий на накопление токоферолов в семенах подсолнечника. Исследование проводили на ЦЭБ ВНИИМК в 2016-2018 гг. Оценивали 29 линий селекции ВНИИМК с пределами варьирования общего содержания токоферолов от 286 до 616,5 мг/кг, в среднем 392,8 мг/кг. На величину признака влияет как генотип, так и среда, также выявлен эффект взаимодействия. В 2016 и 2018 гг. с повышенной температурой воздуха в период цветения и созревания получены семена с большим в среднем количеством токоферолов (420,4 и 397,7 мг/кг соответственно). В 2017 г. этот же период был на 1,8 °С ниже, величина среднего содержания токоферолов в линиях составила 360,2 мг/кг.

Ключевые слова: токоферол, семена, подсолнечник, влияние среды

Введение. Токоферолы, как антиоксиданты, взаимодействуют с радикалами, ведущими цепи окисления, обрывают эти цепи или замедляют перекисный процесс. Токоферолы необходимы для контроля неферментативного перекисного окисления липидов во время покоя и прорастания семян. Имеются данные, что токоферолы могут влиять на углеводный обмен у растения. Токоферолы также способствуют холодо- и жаростойкости растения [2]. Биологическая роль витамина Е сводится, таким образом, к предотвращению аутоокисления липидов биомембран. Установлено, что между скоростью перекисного окисления и содержанием антиоксиданта имеется взаимная зависимость [1].

По данным [3], как генотипический, так и средовой эффекты были значимы для содержания токоферолов. В исследовании [4] обнаружили тесную положительную корреляцию между количеством токоферолов в семенах рапса и суммой положительных температур ($r = 0,68$) и количеством выпавших осадков ($r = 0,63$). В этой же работе авторы утверждают, что повышение температуры негативно влияет на накопление токоферолов.

Цель работы: оценка влияния погодных условий на фенотипическое варьирование содержания токоферолов в семенах современных линий подсолнечника.

Материалы и методы. Эксперимент проводили на центральной базе ВНИИМК в г. Краснодаре в 2016–2018 гг. Использовали 29 инбредных линий подсолнечника селекции ВНИИМК с различным содержанием токоферолов в семенах (95-98% α -токоферол): ВК591, ВК925, ВК900, ВК653В, ВК580, ВК680, ВК101, ВК788, ВК639В, НА413, НА424, НА89, НА422, НА421, ЛГ27, ЛГ26, Л1066, Л1079, Л690, Л1401, СЛ₁₃2232 В, СЛ₀₇006, СЛ₀₈1858В, СЛ₀₇108, СЛ₀₇383, СЛ₀₅4154 В, СЛ₀₆2546 В, К3436, R14. Варьирование изучаемого признака за три года изучения было в пределах 286,0-616,5 мг/кг, со средним значением 392,8 мг/кг. В полевых условиях растения изолировали перед цветением индивидуальными изоляторами и проводили принудительное самоопыление. Отбирали по три растения каждой линии без признаков поражения болезнями и в средней пробе семян с

корзинки измеряли общее содержание токоферолов. Обработку результатов проводили в Microsoft Office Excel.

Метеоданные получены со станции «Круглик» за 2016-2018 гг. По данным [5] накопление токоферолов происходит в течение всего периода цветения-созревание семян. Из трёх лет изучения наиболее высокая средняя температура воздуха за период цветения-созревание наблюдалась в 2016 г., +26,7 °С (см. табл. 1). Также этот период 2016 г. был более засушливым, чем два последующих года, выпало осадков всего 77,6 мм по сравнению с 139,8 мм и 181,4 мм в 2017 и 2018 гг. соответственно. Самым холодным периодом цветения оказался в 2017 г., +24,8 °С, в двух других же годах почти не отличался, +26,4 и 26,6 °С.

Таблица 1 – Температура воздуха и количество осадков за вегетационный период линий подсолнечника
Метеостанция "Круглик" г. Краснодар, 2016-2018 гг.

| Период | Средняя температура воздуха, °С | | | Сумма осадков, мм | | |
|---------------------|---------------------------------|---------|---------|-------------------|---------|---------|
| | 2016 г. | 2017 г. | 2018 г. | 2016 г. | 2017 г. | 2018 г. |
| всходы-созревание | 23,5 | 22,6 | 23,5 | 309,8 | 288,8 | 269,6 |
| цветение-созревание | 26,7 | 25 | 25,6 | 77,6 | 139,8 | 181,4 |
| цветение | 26,6 | 24,8 | 26,4 | 47,9 | 86,7 | 89,2 |
| созревание | 26,7 | 25,2 | 25,1 | 29,7 | 22,7 | 92,2 |

Содержание токоферолов в семенах определяли в лабораторных условиях методом Эммери-Энгеля на спектрофотометре ПЭ-5400ви. Дисперсионный анализ проводили по методике в изложении Б.А. Доспехова (1975) [8]. Величины коэффициентов регрессий на индексы среды вычисляли по методу S.A.Eberhart, W.A.Russell (1966) [9], коэффициенты детерминации вычисляли по Э.Фёстеру и Б.Рёнцу [10].

Результаты и обсуждение. Изучаемые линии значительно различались по числу дней от всходов до цветения. Максимальное различие составило 15 дней между датами цветения. Вегетационный период, однако, не влияет на общее содержание токоферолов в семенах линий подсолнечника. Коэффициенты корреляции между ними не достоверны, $r = -0,02 - 0,03$.

Дисперсионный анализ полученных оценок показал значимость на 1%-ном уровне влияния на величины общего содержания токоферолов погодных условий, разнообразия генотипов и эффектов взаимодействия генотип-среда (см. табл.2). Следовательно, в проведенных испытаниях проявилась специфичность реакций генотипов на изменение погодных условий.

Повышенная температура воздуха и сниженное количество осадков во время цветения растений имели благоприятное воздействие на накопление токоферолов в 2016 г., о чем говорит повышенное среднее значение 420,4 мг/кг, с пределами варьирования от 289,3 до 621,8 мг/кг. Неблагоприятным для изучаемого признака оказался 2017 г. в котором во время цветения линий температура воздуха была в среднем на 1,8 °С ниже, чем в этот же период в 2016 и 2018 гг., а также повышенная влажность.

Содержание токоферолов в 2016 г. В среднем составило 360,2 мг/кг с диапазоном изменчивости 225,8 до 574,9 мг/кг. В 2018 г. среднее по опыту значение было 397,7 мг/кг с пределами от 257,5 до 689,1 мг/кг. Абсолютная вариативность среднего значения генотипов (S_i) в разных погодных условиях была в

пределах от 6,1 до 92,8 мг/кг. Величина этого параметра не зависела от величины общего содержания токоферолов в линиях, коэффициент корреляции между ними равен $r = 0,26$. Значения относительной варибельности признака (CV) также не взаимосвязаны с усредненными значениями общего содержания токоферолов. Коэффициент вариации изменялся от 2 до 26%.

Таблица 2 – Дисперсионный анализ данных эксперимента о влиянии погодных условий на общее содержание токоферолов в семенах подсолнечника

Краснодар, 2016-2018 гг.

| Дисперсия | Число степеней свободы | <i>F</i> фактическое | <i>F</i> критическое при вероятности 0,99 |
|----------------|------------------------|----------------------|---|
| Средовая | 2 | 34,49 | 4,73 |
| Генотипическая | 27 | 32,05 | 1,85 |
| Взаимодействия | 54 | 2,35 | 1,63 |

Для определения линейных реакций генотипов на изменения погодных условий вычисляли коэффициенты регрессий на индексы среды (b_i) и величины остаточных дисперсий (S^2_{di}) как меру нестабильности этих реакций. Минимальное значение коэффициента b_i -0,46, максимальное 2,52 (табл. 3).

Таблица 3 – Параметры варибельности и взаимодействия генотип-среда общего содержания токоферолов (ОСТ) в семенах линий подсолнечника

ВНИИМК, Краснодар, 2016-2018 гг.

| Линия | Параметр | | | | | |
|-------------------------|------------|--------------------|-------|-------|------------|-----------|
| | ОСТ, мг/кг | S^2_{ir} , мг/кг | CV, % | b_i | S^2_{di} | C_d , % |
| СЛ ₀₇ 383 | 286,0 | 6,1 | 2 | 0,18 | 0,1 | 83 |
| НА413 | 293,6 | 32,6 | 11 | 1,07 | 0,0 | 100 |
| СЛ ₀₅ 4154 В | 296,6 | 63,5 | 21 | 1,72 | 25,6 | 68 |
| К3436 | 302,9 | 8,2 | 3 | 0,25 | 0,2 | 86 |
| СЛ ₀₆ 2546 В | 303,7 | 25,5 | 8 | 0,77 | 2,0 | 85 |
| НА424 | 308,1 | 43,9 | 14 | -0,09 | 38,4 | 0 |
| НА89 | 312,7 | 76,9 | 25 | 2,52 | 0,8 | 99 |
| Л690 | 468,1 | 43,5 | 9 | 1,33 | 5,2 | 86 |
| Л1079 | 499,9 | 63,3 | 13 | 2,08 | 0,1 | 100 |
| СЛ ₀₈ 1858В | 515,4 | 92,8 | 18 | 2,15 | 86,5 | 50 |
| ЛГ27 | 535,2 | 11,9 | 2 | 0,39 | 0,02 | 99 |
| ВК900 | 535,9 | 61,3 | 11 | 1,78 | 16,5 | 78 |
| ВК591 | 538,7 | 65,1 | 12 | 1,50 | 43,2 | 49 |
| ВК925 | 616,5 | 63,1 | 10 | 0,46 | 75,7 | 5 |

*HCP*₀₅ 51,1

Примечание: в связи с ограниченным объемом статьи, в таблице приведены данные 7 линий с низким и 7 линий с высоким ОСТ; анализ выполнялся по данным 29-ти линий.

Авторы работы [6] подчеркивают, что для верного отражения параметром b_i реакций генотипов на изменение условий среды, они должны выращиваться в адекватном числе сред. В нашем эксперименте проведено только три опыта, однако обнаружена сопряженная изменчивость коэффициента регрессии b_i и параметров абсолютной ($r = 0,71$) и относительной вариабельности признака ($r = 0,71$), существенных на 1%-ном уровне значимости. Следовательно, у генотипов с $b_i > 1$ повышенная реакция на благоприятные погодные условия, накапливается большее количество токоферолов в семенах, или же они не устойчивы к стрессовым условиям среды [7]. В линиях с $b_i < 1$ средняя величина общего содержания токоферолов менее подвержена изменениям погодных условий.

Однотипность реакций генотипов на изменение погодных условий оценивали коэффициентом детерминации значений ОСТ индексами среды (C_d). Высокая степень согласованности реакций ($C_d = 85-100\%$) оказалась у 50% изученных линий. Специфичность реакций ($C_d = 0-83\%$) проявилась как у линий с низким, так и у линий с повышенным содержанием токоферолов. Высокая специфичность проявилась у линий НА424, ЛГ26, ВК653В, ВК925 с коэффициентом $C_d = 0-10\%$, при этом относительная вариабельность среднего значения признака у них от 10 до 18%. Нелинейность реакций генотипов с низким C_d подтверждает высокая величина остаточной дисперсии (S^2_{di}) у этих линий и значимо отрицательный коэффициент корреляции между этими параметрами ($r = -0,79$) (табл. 4).

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции между средним значением ОСТ и параметрами средовой вариабельности признака для опытов 2016 – 2018 гг.

| Параметры | S^2_i | CV | b_i | S^2_{di} | C_d |
|-------------|---------|--------|--------|------------|---------|
| Среднее ОСТ | 0,26 | -0,12 | 0,07 | 0,29 | -0,18 |
| S^2_i | | 0,91** | 0,73** | 0,66** | -0,34 |
| CV | | | 0,71* | 0,52* | -0,26 |
| b_i | | | | 0,05 | 0,33 |
| S^2_{di} | | | | | -0,79** |

* - существенно на 1%-ном, ** – на 0,1%-ном, уровне значимости

Заключение. Погодные условия оказывают значительное влияние на изменчивость общего содержания токоферолов в инбредных линиях подсолнечника. Норма реакции на изменение погодных условий у разных генотипов существенно различается. Относительная вариабельность среднего значения в пределах от 2 до 26 %. Обнаружены линии, как со стабильным проявлением признака, так и с повышенной отзывчивостью на благоприятные и стрессовые условия. Для практической селекции желательны генотипы с высоким общим содержанием токоферолов, стабильно проявляющие признак в разных погодных условиях. В нашем исследовании таковыми являются линии Л1401, СЛ₁₃2232В, Л690, Л1079, СЛ₀₈1858В, ЛГ27, ВК900, ВК591, ВК925 с содержанием токоферолов от 422 до 616,5 мг/кг.

Благодарности: работа проводилась под руководством д.б.н., проф. Демурин Я.Н.

Литература

1. Шарова Е.И. Антиоксиданты растений: учебное пособие // Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та. – 2016. – 138 с.
2. Березовский В.М. Химия витаминов // М: Пищепромиздат, 1973. – 632 с.
3. L. Velasco, J.M. Fernandez-Martinez, R. Garcia-Ruiz, J. Dominguez Genetic and environmental variation for tocopherol content and composition in sunflower commercial hybrids // Journal of Agricultural Science. – 2002. – 139. С. 425-429
4. Глухова Н.А., Поздняков В.В. Влияние погодных условий на качественный и количественный анализ токоферолов рапса озимого // Масличные культуры (НТБ ВНИИМК). – 2014. – № 2 (159-160).
5. Попов П.С., Осик Н.С. Соединения, сопутствующие жиру и белку в семенах подсолнечника и других масличных культур // Вопросы биохимии масличных культур в связи с задачами селекции – Краснодар. – 1981. – С. 43-59
6. Дьяков А.Б., Васильева Т.А. Биометрические оценки адаптивности сортов сои // Масличные культуры (НТБ ВНИИМК). – 2007. – № 1 (136), с.31-40.
7. Шарыгина М.Л. Комплексная оценка стабильности и агроэкологической адаптивности гибридов и сортов подсолнечника // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Краснодар. – 2002.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта // М.: Колос. – 1979. – 416 с.
9. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. – 1966. – V.6. – №1. – P. 36-40.
10. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. – М.: Финансы и статистика, 1983.–302 с.

THE EFFECT OF WEATHER CONDITIONS ON THE PHENOTYPIC VARIATION OF THE CONTENT OF TOCOPHEROLS IN THE SEEDS OF SUNFLOWER LINES

Gordovskaya N.N., Peretyagina T.M., Kovalenko T.A.

We studied the effect of weather conditions on the accumulation of tocopherols in sunflower seeds. The study was carried out at the VNIIMK in 2016-2018. 29 breeding lines of VNIIMK were evaluated with limits of variation of the total content of tocopherols from 286 to 616.5 mg/kg, on average 392.8 mg/kg. The value of the trait is influenced by both the genotype and the environment, and the interaction effect is also revealed. In 2016 and 2018 with an elevated temperature during flowering and ripening, the obtained seeds had a larger average amount of tocopherols (420.4 and 397.7 mg/kg, respectively). In 2017, the temperature at the same period was 1.8 °C lower, the average content of tocopherols in the lines was 360.2 mg/kg.

Keywords: tocopherol, seeds, sunflower, environment impact